

1. 博士论文研究方向： 协作型机器人安全高效人机协作基础理论及关键技术研究

选题类别：☐基础性研究                      ☐应用性研究                      ☐工程技术攻关研究

☐新开辟的研究方向                      ☒已有研究方向的继续                      ☐其他

2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

在该领域主要从事协作型机器人基础理论与关键技术研究。通过深入研究人与人之间的协作策略和交互方式，从交互行为动力学、认知心理学、交互博弈原理解析等角度揭示了人-人协作行为发生机制，提出了人-机器人对偶、群体交互博弈论模型，为人-机器人协作策略、控制策略以及控制器设计和建模奠定了理论和方法基础。基于理论研究成果，提出了基于多传感器信息融合的人的意图感知方法，采用可穿戴感知技术增强意图感知的鲁棒性，提升系统的感知精度；提出了基于多视觉传感器扛遮挡的运动状态估计方法，实现了视觉传感器遮挡情况下的人的运动状态估计；提出了基于博弈论的人机交互控制器，从理论层面证明了控制系统的稳定性；搭建了人机协作意图预测、运动状态估计、动力学参数辨识和人机协同作业测试验证平台，研制出多种协作型机器人及协作理论和控制方法。该方向的研究为推进协作型机器人设计以及人机协同作业研究奠定了重要的理论基础和实验平台基础，获得国家自然科学基金重大研究计划项目和国家重点研发计划项目的支持。

目前本人在该领域的最新研究成果是，结合多智能体微分博弈论、人群社会交互行为学理论和认知心理学原理，融合视觉、触觉、表面肌电信号、脑电信号等多模态信息，基于多模态信息融合算法，构建面向人机协作的人的意图和运动状态表征方法；基于人体本征模型先验知识，提出了基于人体骨骼特征的数据集降维方法；研制了基于深度学习的新型高效意图识别方法，提升了意图预测的准确性；基于增强现实技术、人工智能技术构建了智能化人-机器人协作平台；基于多传感器自适应融合策略，构建了强鲁棒的人体姿态识别方法；采用N-player博弈模型，实现了人机器人群体协作力位混合控制。在世界上首次将经济学领域的N-player博弈模型应用于人-机器人群体协作交互动力学建模，设计了群体协作控制器；实现了基于手势和凝视等多模态信息融合的主动意图识别方法，实现了人在环路的智能化协作平台。

任现职以来在该领域以第一作者和通讯作者发表学术SCI论文53篇，其中第一或通信作者31篇，JCR1区9篇。作为第一发明人获国家授权发明专利12项，培养博士研究生3名，在读博士4人，培养硕士研究生11人，在读2人，其中3人硕士毕业论文答辩获得优秀成绩

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

国家重点研发计划，重载工业机器人机电控联合建模和一体化设计方法， 90/255万

机器人技术与系统全国重点实验室课题，人形机器人柔性比关键技术研究， 50/50万

国家自然科学基金，模块化变形机器人基础理论与应用， 20/400万

国家自然科学基金，仿生感知、学习、作业及多机器人智能协同关键技术， 10/1244.97万

1. 博士论文研究方向： 协作型机器人的底层柔性环节基础理论及关键技术

选题类别：

☐基础性研究

☐应用性研究

☐工程技术攻关研究

☐新开辟的研究方向

☒已有研究方向的继续

☐其他

2. 博士论文的选题背景及意义和主要研究内容简介

1、面向协作的柔性臂多环节可变刚度配置及构型创成研究 人机协作型机器人操作复杂度更高，技巧性更强，动态及不确定性更明显，从人机共融合作的应用需求出发，研究具有与人相匹配的灵活运动与复杂对象操作能力的仿生构型、变刚度环节配置。具体包括： 1)高顺应性柔性驱动关节及臂杆配置极其影响分析。通过分析协作过程中机器人的末端柔顺特性与关节柔顺特性的映射关系，研究包括柔顺环节自由度数量、柔性环节数量的高顺应性机器人操作影响度分析及评价体系； 2)机器人的仿生构型与刚柔软特性配置。从分析机器人与其外界-机械系统相融性入手，研究适应“角色定位”的协作型机器人仿生构型以及面向人机系统本质安全的机器人刚-柔-软特性配置技术。 2、宽范围可变刚度的柔性关节、杆一体化结构设计与刚度参数辨识研究 为使协作型机械臂具备高度柔顺性及可操作性，除了机械臂具备一定的冗余性外，也需要其中的关节、臂杆具备可变刚度的特性以适应不同的操作场景中的操作需求，具体内容如下： 1)紧凑型可变刚度类线性输出关节。研究具备线性化或者接近线性化输出的可变刚度关节，同时考虑实现结构的复杂性以及效率问题，实现一种可结构简单、紧凑、易控的类线性输出的宽范围可变刚度关节； 2)可变刚度机器人臂杆三维结构拓扑优化研究。从二维机构的拓扑结构优化出发，结合水平集方法在结构拓扑优化中的应用，以及以上宽范围刚度可调的需求，研究臂杆的可轴向、法向锁止的三维拓扑优化； 3)可变刚度关节、臂杆动态刚度辨识研究。由于变刚度环节输出刚度的不可直接测量性，通过在线辨识的方法间接获取。拟采用基于残差的力、力矩估计计算方法进行刚度参数的辨识，以解决实际机械臂系统中刚度实际参数与设计参数之间的偏差问题。 3、可变刚度机器人多物理量刚柔耦合动力学建模方法与多元协同控制研究 本研究拟将适合于大变形柔性体的离散法、适合于大变形的运动学描述法以及适合于机器人动力学分析和控制的建模理论相结合，提出创新的柔性机器人大变形动力学建模理论。由此更进一步建立人-机-环境交互系统的动力学模型，研究人机协作系统的稳定性以及作业性能等问题。 1)可变刚度关节与臂杆的刚柔耦合动力学建模与分析。考虑关节及臂杆可变柔性、非线性弹性变形、不确定摩擦力矩等影响，建立具有柔性关节、臂杆的柔性机器人多体刚柔耦合系统动力学模型； 2)人-机器人-环境交互动力学。建立人、机器人、环境组成的多元交互动力学模型，研究三者空间、运动、作用力等多维度相互耦合作用的力学规律； 3)多元交互系统的协同控制方法。基于所建立的人-机器人-环境多元交互动力学模型，研究三者实现稳定、高性能交互的协同控制方法。

4、基于任务驱动的关节及臂杆变刚度规划策略研究 1)柔性臂刚度映射。分析协作过程中机器人的末端柔顺特性与关节柔顺特性的映射关系，由于可变刚度环节的冗余性，建立最优映射的评价体系，研究高顺应性机器人柔性驱动关节及其关节柔顺性的快速、连续可调节机制； 2)基于任务驱动的刚度调整策略。通过以上的映射关系，根据在协作过程中上一级(任务规划层)提出的刚度调整需求，计算各个关节、臂杆的刚度调整的次序以及调整范围，提出满足在单一以及可变末端操作的柔顺性需求的刚度调整策略。 5、 多环节可变刚度机器人系统集成及实验验证 建立基于底层多环节可变刚度机器人的理论方法与技术验证实验平台，针对所提出的理论、方法和技术，开展全面、系统的实验研究，验证方法的可行性和有效性。

3. 该选题所依托的科研项目或研究经费来源情况

国家重点研发计划，重载工业机器人机电控联合建模和一体化设计方法， 90/255万 机器人技术与系统全国重点实验室课题，人形机器人柔性比关键技术研究， 50/50万 国家自然科学基金，模块化变形机器人基础理论与应用， 20/400万 国家自然科学基金，仿生感知、学习、作业及多机器人智能协同关键技术， 10/1244. 97万